

综述

李蓓蓓, 郭军伟, 马骥, 等. 近红外光谱分析技术在烟草行业的应用研究进展[J]. 中国烟草学报, 2025, 31(3): 148-160. LI Beibei, GUO Junwei, MA Ji, et al. Research Progress on the Application of Near-Infrared Spectroscopy Analysis Technology in the Tobacco Industry[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2025, 31(3): 148-160. doi:10.16472/j.chinatobacco. 2024.T0260

近红外光谱分析技术在烟草行业的应用研究进展

李蓓蓓¹, 郭军伟^{1*}, 马骥¹, 张诺涵², 赵乐¹, 王洪波¹, 刘雨¹,
金哲², 李山³, 刘金霞², 王志才³, 聂聪¹

1 中国烟草总公司郑州烟草研究院烟草化学研究室, 郑州高新技术产业开发区枫杨街2号 450001;

2 吉林烟草工业有限责任公司技术研发中心, 长春市经开区世纪大街99号 130033;

3 甘肃烟草工业有限责任公司技术研发中心, 兰州市七里河区南滨河中路1111号 730050

摘要: 对烟草行业近十五年近红外光谱分析技术在新鲜烟叶、初烤/复烤烟叶、醇化烟叶、卷烟产品配方、卷烟制丝、卷烟成品及卷烟辅材等方面的应用研究进展进行了综述, 并提出近红外光谱分析技术的应用发展趋势和研究重点。

关键词: 近红外; 烟草; 新鲜烟叶; 初烤烟叶; 复烤烟叶; 醇化烟叶; 卷烟产品配方; 卷烟制丝; 卷烟成品; 卷烟辅材

近红外光谱(Near Infrared Spectroscopy, NIR)分析技术是一种基于物质对近红外光(波长范围为780~2500 nm)吸收特征进行分析的技术。NIR属于分子振动光谱, 由分子振动的非谐性振动产生, 主要反映C-H、O-H和N-H等含氢基团振动的倍频和合频。因此, NIR分析技术适用于大多数有机物的分析, 可以获得物质的组成、结构、相互作用等化学信息及样品密度、粒度、硬度等物理性质信息^[1]。由于光谱吸收弱, NIR分析技术通常需结合化学计量学方法对这些信息进行挖掘和提取, 以实现样品的定性和定量分析。该技术具有无需复杂的样品处理、操作简便、分析速度快以及数据产出丰富等优势, 广泛应用于各领域, 如农业(土壤、作物、饲料等)、食品业(面粉、奶制品、水果等)、石油化工(原油监测、成品调和、炼油、辛烷值等)、药品(原料、混合、有效成分等)和医学诊断等。NIR分析技术已经成为生产实践中不可或缺的分析手段。

NIR分析技术在烟草行业的应用始于1961年, 至今已有60多年历史^[2]。目前, 我国烟草行业实验室型近红外光谱仪保有量近300台, 分布在打叶复烤厂、

工业企业技术中心、地市级烟草技术中心等单位, 在线近红外光谱仪保有量3000余台。烟草行业NIR分析技术应用已经由单纯的化学成分分析发展到烟叶成熟度判别、初烤烟叶分级、复烤烟叶质量均一性控制、复烤模块组配、烟叶风格质量评价、醇化进程判别、卷烟配方维护与设计、制丝质量稳定性监控、卷烟真伪鉴别及卷烟原辅材料质量控制等方面, 取得了良好的应用效果。

刘国珍^[3]、王保兴^[4]、张灵帅^[5]和祝元元等^[6]分别于2001年、2006年、2009年和2010年对NIR分析技术在烟草行业的几个应用进行了详细综述, 为该技术的普及做了大量工作。近15年, 随着NIR分析技术快速发展, 烟草行业NIR分析模型建立及实际应用等方面又有了长足发展。通过万方数据库、中国知网(CNKI)数据库、知识产权局门户网站、ScienceDirect数据库查询, 涉及烟草行业NIR分析技术应用的研究近380篇, 专利近400项, 文献发表年份趋势和关键词见图1、2。可以看出, NIR分析技术在烟草行业的应用研究于2015—2020年显著增加后进入相对稳定的平台期, 2021—2023年应用研究又表现出快速增长

作者简介: 李蓓蓓(1999—), 主要从事烟草化学研究, Tel: 0371-67672506, Email: 1945553703@qq.com

通讯作者: 郭军伟(1981—), Tel: 0371-67672399, Email: 4531612@163.com

收稿日期: 2024-07-18; **网络出版日期:** 2025-04-09

的趋势。由相关文献关键词频次即字体大小可知,烟草研究热点更集中于烟叶香型风格、烟叶分级、产地鉴别、烟丝掺配、烟叶判别等实际应用。

烟草作为卷烟工业的重要原材料,从田间采收的成熟烟叶到成品卷烟需要经过初烤、打叶复烤、醇化、配方、制丝、卷制和包装等一系列加工环节。烟叶的成熟度、烟叶原料的质量风格、复烤加工过程的质量

控制、烟叶醇化程度、卷烟配方设计参数、制丝过程质量稳定性控制及卷烟辅材的选择等因素,均会导致卷烟产品质量的变化,影响卷烟品质。因此,本文对 NIR 分析技术从新鲜烟叶到成品卷烟各个环节的应用进展进行较为详细的综述,为 NIR 分析技术更好地发挥效力及更广泛地开发与应用提供参考。

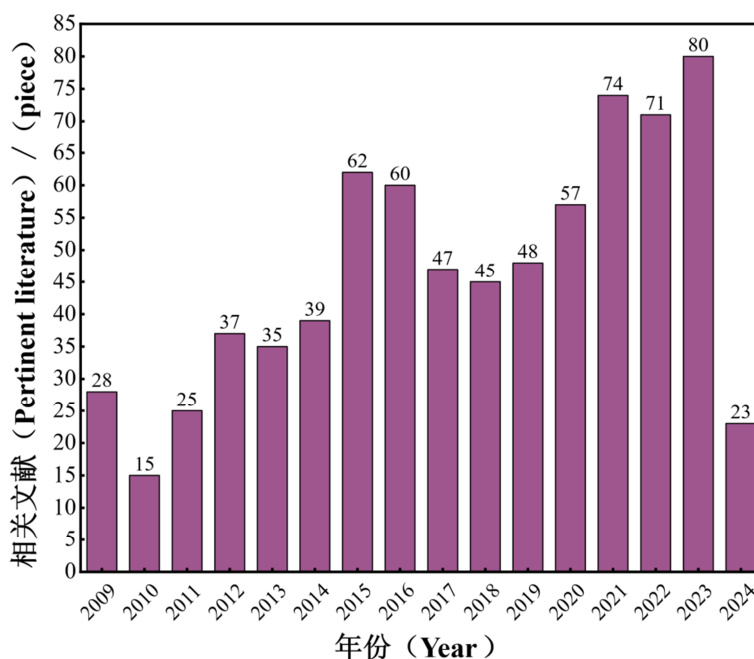


图 1 2009—2024 年烟草行业近红外光谱分析技术年度文献量统计

Fig.1 Statistics of annual literature volume on near-infrared spectroscopy analysis technology in the tobacco industry from 2009 to 2024



图 2 2009—2024 年烟草行业近红外光谱分析技术相关文献关键词词云

Fig.2 Keyword cloud of literature related to near-infrared spectroscopy analysis technology in the tobacco industry from 2009 to 2024

1 NIR 分析技术在新鲜烟叶上的应用

烟叶采收是卷烟生产中的一个重要环节。烟叶在采集时的成熟度决定了其产量、质量和经济价值。烟叶的成熟度不仅包括外观特征,还涉及内部化学成分的协调。

不同成熟度烟叶外观特征的差异体现在 NIR 上,因此有研究基于 NIR 相似性来定性判别新鲜烟叶成熟度^[7-10]。方智文等^[7]选用间连接法对 56 组烟叶样品 NIR 数据进行系统聚类分析,对成熟与未成熟烟叶识别正确率达 92.86%,为 NIR 技术判断新鲜烟叶成熟度提供了可行性验证。CHEN 等^[10]结合 NIR 与卷积神经网络 (CNN) 深度学习方法建立了鲜烟叶成熟度判别模型,结果表明,CNN 判别模型对上、中、下 3 个部位烟叶成熟度判别准确率分别为 96.18%、95.2%、97.31%。

NIR 结合图像识别技术提取鲜烟叶颜色特征,可实现更精细的成熟度判别。宾俊^[11]利用极限学习机 (ELM) 建立 NIR 数据和图像数据融合模型,与单独 NIR 模型相比,融合模型对上、中、下 3 个部位烟叶成熟度的判别正确率平均提高了 8.49%,能够实现对生叶、欠熟、适熟、成熟和过熟 5 个成熟等级的快速判别。杨睿等^[12]则采用随机森林 (RF) 方法建立鲜烟叶成熟等级的融合判别模型,该融合模型对红花大金元、K326 和云烟 87 等 3 个烤烟品种烟叶成熟度的识别正确率分别为 94.08%、94.78%和 92.96%。

烟叶成熟过程中,一些化学指标的变化呈现规律性,如有研究表明叶绿素和类胡萝卜素含量随烟叶成熟度提高而逐渐减少。基于此,采用 NIR 分析技术构建新鲜烟叶化学指标的定量模型用于判别烟叶成熟度也得到了发展。王承伟^[13]建立了烟叶中叶绿素相对值 (SPAD) NIR 定量预测模型,对烤烟 K326 中、上部鲜烟叶成熟度预测结果较为理想。

2 NIR 分析技术在初烤/复烤烟叶上的应用

2.1 初烤烟叶质量分级

初烤烟叶的分级主要用于烟叶的收购。在初烤烟叶收购过程中,质量控制主要根据烟叶外观特征先分组、后分级,即分组完成后在同一组内将烟叶划分为

3~4 级。利用 NIR 分析技术对初烤烟叶收购分级的研究较少^[14-17],章英等^[14]提出了一种基于 NIR 快速鉴别初烤烟叶“整叶”品质无损检测评价的方法,对初烤烟叶部位、颜色的分组预测正确率分别达到 98.57%和 97.14%。宾俊等^[15]建立了一种 NIR 结合 ELM 算法自动鉴别初烤烟叶整叶等级的方法,基于品质相似、价格接近原则的烟叶收购分组后,对 2014 年和 2015 年收购国标样本上、中、下等烟外部预测分组正确率分别为 95.77%和 94.23%。LI 等^[16]提出一种基于采购现场的手持式近红外光谱仪和粒子群优化-极限学习机 (PSO-ELM) 算法的烟叶无损快速分级方法,对云南普洱市 X2F、C3F、B2F 3 个等级样品总体分级正确率达 98.67%,对云南宣威市 X2F、C2F、C3F、B1F、B2F 5 个等级样品总体分级正确率为 91.56%。

2.2 复烤烟叶质量稳定性控制

打叶复烤是将烟叶由烟草农产品转变为卷烟工业生产原料的重要加工过程。复烤烟叶成品的均质性和稳定性是保障烟丝质量的重要条件。应用 NIR 分析技术对复烤烟叶的质量评价主要体现在复烤前后烟叶的质量监控及入库烟叶的质量复查等环节中化学成分的检测^[18-24]。

段凯等^[18]在 4069.19~9002.45 cm^{-1} 波段使用 PLS 建立了贵州复烤烟叶中水溶性糖和烟碱含量的近红外速测模型,与标准方法实测值相比,PLS 定量模型预测结果相对偏差均 $\leq 5\%$,该模型可通过快速定量分析水溶性糖和烟碱含量来评价复烤烟叶质量。为了高频率取样检测,杜文^[19]、杜阅光^[20]、胡芸等^[21]基于在线 NIR 分析技术实时检测复烤烟叶的常规化学成分,为打叶复烤工艺环节及时处理复烤烟叶质量异常情况提供了数据支持。受复烤生产现场机械震动、温湿度高、粉尘较大等环境影响,在线近红外分析模型的校验残差较高。便携式近红外光谱仪也被应用于复烤烟叶质量稳定性控制。叶浩等^[24]采用手持式近红外光谱仪检测生产线中复烤烟叶的烟碱含量,并以成品烟叶烟碱变异系数 (CV) 作为均质化控制指标,3 个验证批次得到的绝对误差均 ≤ 0.35 ,相关性均 > 0.65 。

2.3 复烤模块组配

烟叶复烤模块组配是基于不同产区和不同等级烟叶的特性,按照特定比例组合烟叶的过程。其主要目

的是提高烟叶原料质量的稳定性,从而保障卷烟产品的质量。已有文献报道多是基于烟叶 NIR 特征进行复烤模块组配方法的建立^[25-28]。张雅娟等^[25]从原光谱、导数光谱、主成分以及 PPF 投影 4 个方面证明烟叶配方的线性加和光谱可代替实际配方光谱作为目标光谱,为稳定复烤配方提供可靠指导。梁颖^[27]在线性加和光谱基础上,采用基于禁忌思想的布谷鸟搜索算法对样本烟叶矩阵进行迭代寻优,所得到的推荐配方与实际配方具有质量一致性。采用指标评价和感官验证相结合的方式对复烤配方模块的设计也是研究重点之一。郝贤伟等^[28]通过建立 NIR 与烟叶内在质量间的关联,结合评吸感官评价,提供了一种设计与目标复烤烟叶模块品质近似的配方。

3 NIR 分析技术在醇化烟叶上的应用

3.1 烟叶产地与风格质量鉴别

烟叶的风格质量在不同地区、不同部位、不同等级之间存在较大差别。产地决定了烟叶风格,烟叶部位和等级则反映烟叶质量,烟叶质量决定烟叶的可用性和经济价值。利用 NIR 分析技术对烟叶风格质量进行定性判别和量化表征的研究非常广泛,主要分为模式识别算法模型和化学成分预测模型 2 类。

“近红外光谱&算法模型”表征烤烟产地与风格的研究较多^[29-51]。施丰成等^[30]采集 2008 年产四川、云南、重庆和福建的 464 个烤烟样品的 NIR,通过偏最小二乘法判别分析(PLS-DA)建立了烟叶产地判别模型,检验集样本的判断准确率高于 93%。束茹欣等^[31]采集国内 17 个主要烤烟产地烤烟样品的 NIR,基于主成分分析(PCA)和 Fisher 准则建立了浓、中、清烤烟风格的投影分析模型,并依据预测样品投影值与各类投影均值之间的欧氏距离,对预测样品给出风格特征程度的量化分值,将预测结果细化为典型浓、浓偏中、中偏浓、典型中、中偏清、清偏中、典型清、清透浓、浓透清 9 类。采用相同方法,杨凯等^[32]以国内外主要烤烟产地样品为对象,设定风格特征量化分值阈值,将预测结果细化为典型上、上偏中、中偏上、典型中、中偏下、下偏中、典型下 7 类。栾丽丽等^[36]则在此基础上融合 PLS、支持向量机(SVM)等多算法,以全国 17 个主要烤烟产地烟叶样品的 NIR 为对

象,将烤烟香型细分为典型、过渡型和非典型香型。付博等^[50]则采用随机森林方法构建烟叶清甜香型、蜜甜香型、醇甜香型、焦甜焦香型、焦甜醇甜香型、清甜蜜甜香型、蜜甜焦香型、木香蜜甜香型八大香型的分类模型,进一步验证了近红外光谱分析技术在烟草香韵判别中的有效性。

烟叶的化学成分是影响烟叶产品质量与风格的物质基础,其含量和比例直接影响烟叶的感官质量^[52]。近年来有研究通过“近红外预测化学成分&算法模型”对烟叶质量和风格进行表征^[53-55]。马莉等^[53]结合 NIR 与 26 个化学指标对 6 个产地晒红烟进行相似性分析,相似度值与产地分布规律一致,并证明决定晒红烟产地特征的重要化学指标是亚硝胺。郭军伟等^[54]采用 NIR 技术分析 2020 和 2021 年的 1157 个国产烤烟烟叶样品,获得了影响烟叶风格质量的 70 种常量和半微量成分,通过马氏距离算法建立了基于烟叶 70 种成分的 3 个产地和 3 个部位识别模型,产地识别正确率为 100%,部位识别正确率为 81.5%~99.5%。

3.2 烟叶醇化进程判别

烟叶醇化是改善烟叶质量、提高烟叶可用性的关键环节之一,是卷烟产品内在质量的基础和保障。烟叶醇化过程中,烟叶内部的氧化过程会导致其外观特征和化学成分发生变化。研究利用 NIR 分析技术对烟叶醇化进程的判定主要基于烟叶化学成分的变化^[56-57],如巩效伟等^[57]以 9 种不同醇化时间和不同等级的云南 K326 烤烟品种为研究对象,采用 NIR 分析技术检测总氮、烟碱等主要化学成分,发现烤烟中主要化学成分与烟叶的等级和醇化时间之间存在密切相关性,研究结果可用于指导烟叶的人工醇化。此外,由于不同醇化时间的烟叶感官品质不同,杨洋等^[58]采用 PLS 建立了烟叶样品感官醇化打分和 NIR 之间的校正模型,并通过留一交叉验证法优化 PLS 模型,模型对未知样品的预测醇化打分与实际非常相近,可用于烟叶醇化程度的快速预测,从而大量减轻人工感官评吸的工作量。尽管 NIR 分析技术可用于适宜醇化时间的判断和烟叶的醇化质量评价,但相关研究较少。

4 NIR 分析技术在卷烟产品配方上的应用

卷烟产品配方的设计与维护在过去主要依赖于专

家的原辅材料配伍技术水平和产品质量感官评价水平。然而,随着具有承载样品特征信息的完备性、快速、高效等优点的 NIR 技术发展,对烟叶质量风格判别准确性大大提高。由此,卷烟产品研发模式开始由经验配方向数字化智能配方模式转变。

目前,已报道的 NIR 在卷烟产品配方设计和维护中的应用多在正式感官评吸之前,通过光谱信息和算法模型模拟分析原料配方^[59-62]。谢有超^[60]以贵州中烟有限责任公司的各牌号叶组 NIR 数据为基础,将原料烟叶光谱重构的最小误差平方和作为评价指标,采用非线性多元算法进行迭代实验找到十种配方可能性,并成功对 8 个叶组配方进行解析,为新配方设计提供数据支撑。李石头等^[61]提出一种局部校正的 NIR 预处理方法及集成的光谱相似度算法,基于光谱相似表征烟叶相似,筛选出的相似片烟与目标片烟在产地、部位的符合度分别为 82.0%、75.7%,总糖、烟碱等主要化学成分的平均差异小于 5%,采用片烟相似+片烟组合相似的方式,模拟计算出的替代配方在化学成分、感官指标等方面与原配方无显著差异。赵乐等^[62]利用近红外漫反射光谱加和规律,智能生成满足叶组配方维护需求的光谱,即按照加和规律生成所需掺配原料烟叶的特定比例,实现叶组配方数字化维护,使得原料烟叶组合方式更加丰富。

卷烟配方设计和维护的核心是感官评价。梁森等^[63]基于半监督偏最小二乘法建立了原料烟叶近红外感官质量模型,实现了对烟叶感官品质的准确标定。刘挺^[64]建立了基于 NIR 的烟叶感官评估模型,综合运用烟叶感官品质特征空间、智能感官评估模型、特征光谱拟合,以及配方维护行为模式分析、相似性度量等技术和方法,实现卷烟产品叶组配方的数字化维护。

5 NIR 分析技术在制丝过程中的应用

制丝过程是卷烟工业生产的一个重要环节。烟丝、梗丝和膨胀烟丝混配的均匀性和烟丝质量稳定性影响着成品卷烟质量的稳定性,对于提高卷烟产品质量和稳定卷烟品牌特征风格具有十分重要的意义。

烟丝掺配均匀性通过评估掺配后烟丝的物理指标、感官指标、化学成分特性值来进行评价。目前,在烟草制丝过程中,多采用 NIR 分析技术快速预测烟

丝化学成分相关特征值来评价烟丝掺配均匀性^[65-70]。徐伟^[65]、董海平等^[66]采用声光可调滤光器型(AOTF)近红外光谱仪,在烟草制丝线通过 PLS 定量模型实时在线监测烟丝中总糖、还原糖、总烟碱、氯等指标的 CV,实现混丝过程的在线均质化分析。李瑞丽等^[68]采用 PCA 分析构建烟丝常规及衍生化学成分综合统计量得分 F,利用 PLS 法建立 F 得分的近红外光谱模型,模型决定系数达到 0.965,具有较好的混丝均匀性预测性能。王军等^[69]以糖碱比为评价指标计算在线混丝均匀度,计算值为 98.35%,大于 95%,表明混丝工序能力正常,混丝均匀度能够满足质量要求。一些研究则直接对烟丝实际配方组分含量进行预测,以评价烟丝是否掺配均匀。陈小明等^[71]采用 PLS 建立膨胀烟丝、梗丝、大线烟丝、小线烟丝掺配比例的近红外识别模型,预测相对偏差< 3.5%,可快速准确表征烟丝掺配均匀性。张鼎方等^[72]建立可预测膨胀烟丝与烟叶烟丝掺配比例值的近红外模型,模型预测值与膨胀烟丝掺配实际值之间相对误差为 2.75%。

烟丝质量稳定性包括烟丝化学成分的稳定性和烟丝物理参数的稳定性,其中烟丝化学成分的稳定性至关重要。众多研究均表明,NIR 分析技术可用于监测各个工序中烟丝质量波动情况^[73-80]。邓发达^[73]、张佳芸等^[74]采集、对比不同制丝工序段中烟丝样品 NIR 特征信息,发现制丝过程中烟丝质量波动情况可通过近红外技术表征。陶鹰等^[75]以制丝线末端烟丝近红外反射光谱数据为基础建立相似度匹配鉴别模型,结果表明,烟丝模型对模型样品预测的相似度匹配值(SMV)均在 90 以上,而对非模型样品预测的 SMV 较低,证明该模型可有效检测烟丝质量。邹振民^[79]、史新珍等^[80]将在线近红外光谱仪应用于制丝线上,通过常规化学成分的含量实现连续地跟踪制丝工艺状况和产品质量变化。

6 NIR 分析技术在卷烟产品上的应用

6.1 卷烟烟气

卷烟烟气是在卷烟抽吸过程中由烟草燃烧、裂解和蒸馏而产生的极其复杂的气溶胶,其中卷烟焦油、烟气烟碱量和一氧化碳释放量决定了卷烟制品能否上市;卷烟烟气氢氰酸等有害成分释放量则是评价卷烟

危害性的重要参数。利用 NIR 分析技术检测烟气成分的研究主要集中在基于剑桥滤片和卷烟烟丝烟末化学指标的 2 种定量模型。

利用 NIR 分析技术检测烟气成分的研究最早是 DiLuzio^[81]利用剑桥滤片建立卷烟烟气水分、烟碱和焦油的近红外模型,虽然无法取代相应的 ISO 标准方法,但作为一种可靠的筛选分析,可以减少 80%的工作量。李阳阳等^[82]基于剑桥滤片建立的卷烟烟气烟碱、焦油和一氧化碳近红外预测模型,与行业标准方法结果无显著差异。任建新等^[83]采用 PLS 建立了剑桥滤片的傅立叶变换近红外光谱对 B[a]P、NNK、HCN 等多种烟气组分释放量及危害性指数 H 值的预测模型,模型对毫克级烟气组分的平均相对预测误差为 5%。

基于剑桥滤片法的定量检测需要抽吸卷烟,因此有研究利用卷烟烟丝烟末直接建立 NIR 定量预测模型以提高检测效率。何智慧^[84]基于烟丝粉末 NIR 建立了可快速测定主流烟气中焦油和烟碱释放量的校正模型,与常规分析数据相比,偏差 <1.0 mg/g 烟丝,具有很好重现性。付秋娟等^[85]利用烟丝 NIR 建立卷烟烟气中焦油和烟碱释放量的近红外速测模型,模型预测值与标准之间无显著性差异。王淑霞^[86]采用 PLS 在烟草粉末 NIR 与卷烟主流烟气中酚类化合物和氨含量之间建立稳健预测模型,其中苯酚 PLS 模型预测平均相对偏差为 1.35%,氨 PLS 模型预测平均相对偏差为 7.2%,预测精度均能满足要求。

6.2 卷烟真伪鉴别

真伪卷烟的判断主要依靠外观特征和感官评吸,这种鉴别方法具有耗时费力的局限性。通过采用真品卷烟和伪劣卷烟烟丝、烟支或卷烟辅料近红外光谱匹配度或分类进行辅助鉴别,有利于提高真假卷烟鉴别的效率和准确性。

基于卷烟烟丝 NIR 进行卷烟真伪鉴别方面,张灵帅^[87]、李维莉等^[88]利用主成分分析结合马氏距离聚类判别建立品牌卷烟烟丝的定性判别模型,对未知品牌卷烟的真伪预测准确率为 100%。袁大林等^[89]采用逐步变量筛选法和典则判别分析建立 3 个不同品牌烟丝的近红外判别模型,训练与交互检验平均正确率分别为 98.4%和 95.2%。John 等^[90]将品牌烟丝粉碎成粉后采集 NIR 数据,采用 PCA 和 PLS-DA 建立卷烟品牌判别模

型,对不同品牌烟粉区分的置信水平为 95%。

基于整体烟支 NIR 进行卷烟真伪鉴别方面,段焰青等^[91]对整支真品卷烟进行漫反射扫描,应用 TQ 软件中的相似度匹配定性分析方法,建立了品牌卷烟的相似度匹配模型,实现了真假卷烟的现场快速鉴别。

基于卷烟辅料 NIR 进行卷烟真伪鉴别方面,张燕^[92]通过对卷烟小盒烟用材料 NIR 的研究,采集卷烟商标纸反面 NIR,利用主成分分析结合马氏距离法建立商标纸模型,模型对伪劣卷烟的识别正确率达到 100%。该商标纸模型结合烟丝模型可为卷烟真伪的快速、准确鉴别提供新方法。

7 NIR 分析技术在卷烟辅材上的应用

7.1 卷烟纸

卷烟纸是生产卷烟的一种基本辅材,其特性对卷烟的燃烧性能、吸味和香气释放都有一定的影响。检测卷烟纸的物理性能(厚度、透气度等)是控制其产品质量的一个重要途径。2006 年,王家俊等^[93]建立了测定卷烟纸厚度、透气度、水分和灰分等性质的 NIR-PLS 校正模型,实现了卷烟纸的定量质量控制。然而,之后少有研究聚焦于卷烟纸物理性能的近红外定量分析。除了物理性能检测,卷烟纸的质量控制还包括外观品质的评估。赵科文等^[94]在 NIR 基础上结合模式识别算法,建立了卷烟纸油渍污染和未污染模式识别模型,实现了对油渍卷烟纸的快速识别和污染油渍溯源。

7.2 滤棒

常见的烟用滤嘴由普通醋酸纤维滤棒和接装纸卷制而成。三醋酸甘油酯作为滤棒成型工艺中的增塑剂、固化剂,对卷烟滤棒的物理指标和卷烟烟气的感官质量起着至关重要的作用,其含量是滤棒质量控制的一个重要指标。由于三醋酸甘油酯在近红外谱区有特征吸收,因此可利用 NIR 分析技术对其进行快速、准确检测。

郭松斌等^[95]将一定数量的滤棒扎紧后直接放入旋转杯,在 4200 cm^{-1} ~ 5000 cm^{-1} 及 7000 cm^{-1} ~ 8000 cm^{-1} 谱区进行建模,模型对三醋酸甘油酯含量预测值与 CORESTA 实测值无显著性差异。王鹏等^[96]则在 4000 cm^{-1} ~ 10000 cm^{-1} 谱区建立烟用滤棒中三醋酸甘油酯含

量 NIR 预测模型,模型的相关系数达 0.9912,精密度在 0.27%~0.62%。以上方法均实现了烟用滤棒中三醋酸甘油酯含量的准确检测。工业生产中,为满足现场快速检测要求,杨光远等^[97]使用手持式近红外光谱仪,结合 PSO-ELM 回归算法建立了滤棒中三醋酸甘油酯含量的定量预测模型,PSO-ELM 预测模型的决定系数为 0.9212,预测均方根误差为 0.39212,为生产过程中滤棒三醋酸甘油酯含量的实时监控提供了技术手段。

7.3 香精香料

烟用香精香料有着改善卷烟吸味、赋予卷烟独特香气风格等作用,其质量控制是保持卷烟产品稳定、形成特色品牌烟的重要保障。运用 NIR 分析技术构建香精香料理化指标的定量分析模型及定性分类模型能够快速实现香原料及复配烟用香精香料的质量控制。

近红外光谱定量分析主要应用于香精香料理化指标和部分化学成分的含量预测,以实现香精香料的质量控制^[98-104]。刘珊^[98]、黄艳^[99]、李军华等^[101]采用近红外透射光谱分析技术,构建了烟用香精香料的折光系数、pH、相对密度及挥发总量 4 种理化指标的预测模型,模型预测均方差可满足实际测量要求。董海平等^[102]基于 AOTF 近红外光谱仪实现了对香精香料溶液中乙醇和薄荷醇的在线定量分析,对乙醇和薄荷醇 19 个测试样品化验值和预测值的标准偏差分别为 0.44 和 2.67。陈毅^[103]建立了快速预测烟用料液中水溶性总糖和还原糖含量的 NIR 模型,总糖和还原糖的模型预测值和参考值基本一致,可用以评价烟用料液配制质量的稳定性。秦子娟等^[104]建立烟用香精中水、乙醇、1,2-丙二醇和丙三醇的 NIR 定量预测模型用以烟用香精生产与应用过程中的质量监控,显著水平为 5%条件下,该模型对异常样品和正常样品正确判别率为 100%。

近红外光谱定性分析则主要应用于烟用香精香料的质量控制和品牌识别^[105-111]。郑健等^[105]对香精 NIR 相似性匹配度进行计算,建立了常用烟用香精的一致性评价模型,该模型对 92.2%的样品(364 种)实现了快速准确的判别。彭军仓等^[106]采用基于规则深度分类算法结合 NIR 实现了香精香料种类现场快速识别,识别准确率为 98.07%。陈兴等^[107]利用相似度匹配方法建立 3 个卷烟品牌表香的相似度匹配鉴别模型,表香

模型对模型样品预测 SMV 在 95 以上,而对非模型样品预测 SMV 极低,可用于品牌表香的鉴别。陈毅^[108]基于漫透反射近红外光谱,利用主成分分析结合马氏距离构建 9 种烟用料液品牌的分类鉴别模型,可对异常样品进行识别。张峰等^[109]使用近红外透射光谱技术建立了二次调配烟用香精的马氏距离定性控制模型,对于放置 6 个月样品及稀释 90%的样品,模型可获得与色谱指纹图谱法一致的相似度判断结果。

8 总结

由于近红外光谱分析技术具有快速、无损、信息量大、低成本、无需特殊预处理等多个优点,近 15 年来,该技术在烟草行业的研究热度和实际应用均持续上升。从新鲜烟叶、初复烤烟叶、醇化烟叶、卷烟制丝、卷烟产品及卷烟辅材涉及的诸多工艺环节中,NIR 分析技术都开展了广泛研究,且在工农业生产中实现了不同程度的应用,发挥了重要作用。这些应用涵盖了实验室型、在线型和便携式等近红外光谱仪器。其中,实验室型近红外光谱仪器具有较高的精度,多用于复烤模块组配、烟叶风格质量鉴别、烟叶醇化进程判别等抽样检测环节;在线型近红外光谱仪器主要用于打叶复烤、卷烟制丝等生产环节,能够实现产品质量实时监测和光谱数据高效采集;便携式近红外光谱仪器则多用于初烤烟叶收购、复烤烟叶入库等质量分级环节,凭借其灵活性、便捷性和低成本,满足现场快速检测的需求。

随着烟草行业生产模式和 NIR 分析技术需求的变化,以网络技术为依托的近红外检测网络体系逐渐发展起来:2014 年,山东烟草研究院^[112]以烟叶品质控制为切入点,研发形成了支撑多检测终端的烟叶品质快速分析网络化平台;2015 年,云南中烟^[113]基于“互联网+近红外光谱分析”的基本模式构建了以原料研究为导向的烟叶原料近红外分析网络系统;2018 年,上海烟草集团^[114]正式启用“动态建模,网络共享,全程管控”的网络化管控体系以管理近红外检测质量;2020 年,行业烟草科研大数据重大专项项目“近红外分析技术大数据系统构建”顺利完成,构建了“数据规范、中心建模、资源共享、智能分析”的烟草近红外光谱分析网络平台^[115],涵盖了烟叶中 70 种化学成分指标,

形成了初烤烟到卷烟产品的完整化学成分数据链和行业化学成分数据库,实现了工业企业技术中心、工农业科研机构、复烤企业等行业各类用户一体化联通。这些网络化平台满足了烟叶原料收购、复烤、入库、醇化、制丝和成品卷烟过程中广域范围内大规模快速检测及信息汇总的需求。

鉴于 NIR 分析技术能够快速准确分析样品的多种成分,较为全面刻画样品的内在品质,可获得丰富分析数据。目前,国家在大力推进制造业的数智化和绿色化转型,NIR 网络检测体系形成的分析数据资产将在烟草行业数智化转型中扮演重要的角色。以 NIR 分析技术获取的数据为基础,结合大模型、人工智能(Artificial Intelligence, AI)等先进技术进行深度挖掘以提取有价值的信息,实现 AI、大数据和云计算等技术与卷烟数字化设计的深度融合创新,构建烟叶感官质量及风格定性定量表征模型,发展叶组配方、复烤模块多级配方数字化技术,拓展烟叶使用范围,提升烟叶使用价值,提高工作效率和精准性,进一步推动烟叶采购、种植规划和生产指导。可以预期的是,NIR 分析技术必将在卷烟设计全链条数字化过程中发挥重要的作用,推动中式卷烟产品创新向数字化、智能化方向迈进。

参考文献

- [1] 严衍录. 近红外光谱分析基础与应用[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2005: 8-9.
YAN Yanlu. Fundamentals and applications of near infrared spectroscopy analysis [M]. China Light Industry Press, 2005: 8-9.
- [2] 张忠锋. 烟草近红外光谱分析技术[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2016: 42-43.
ZHANG Zhongfeng. Tobacco near infrared spectroscopy analysis technology [M]. China Agricultural Science and Technology Press, 2016: 42-43.
- [3] 刘国珍, 陈祖刚, 李丹, 等. 近红外光谱分析技术进展及其在烟草行业中的应用[J]. 烟草科技, 2001, (11): 15-17.
LIU Guozhen, CHEN Zugang, LI Dan, et al. Development of near infrared spectroscopic techniques and its application in tobacco industry[J]. Tobacco Science & Technology, 2001, (11): 15-17.
- [4] 王保兴, 陈国辉, 汪旭, 等. 近红外光谱技术在烟草领域的应用进展[J]. 光谱实验室, 2006, 23(5): 1075-1084.
WANG Baoxing, CHEN Guohui, WANG Xu, et al. Development of near infrared spectroscopic techniques in tobacco field[J]. Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory, 2006, 23(5): 1075-1084.
- [5] 张灵帅, 邢军, 王卫东, 等. 近红外光谱分析技术进展及其在烟草行业中的应用[J]. 光谱实验室, 2009, 26(2): 197-201.
ZHANG Lingshuai, XING Jun, WANG Weidong, et al. Development of near infrared spectroscopic technology and its applications in tobacco industry[J]. Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory, 2009, 26(2): 197-201.
- [6] 祝元元, 陈永宽, 刘志华, 等. 近红外光谱技术在烟草行业的应用进展[J]. 应用化工, 2010, 39(11): 1750-1753.
ZHU Yuanyuan, CHEN Yongkuan, LIU Zhihua, et al. Advance on near infrared spectroscopic technology in tobacco industry[J]. Applied Chemical Industry, 2010, 39(11): 1750-1753.
- [7] 方智文, 唐延林, 魏晓楠, 等. 烟叶成熟度区分及烟碱含量检测模型研究[J]. 中国农学通报, 2015, 31(4): 269-273.
FANG Zhiwen, TANG Yanlin, WEI Xiaonan, et al. Study on distinguishing the maturity of tobacco leaves and detection model of nicotine content[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2015, 31(4): 269-273.
- [8] 王承伟, 宾俊, 范伟, 等. 基于近红外光谱技术结合随机森林的烟叶成熟度快速判别[J]. 西南农业学报, 2017, 30(4): 931-936.
WANG Chengwei, BIN Jun, FAN Wei, et al. Rapid discrimination of maturity of tobacco leaf based on near-infrared spectroscopy and random forest[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2017, 30(4): 931-936.
- [9] 谭观萍, 宾俊, 范伟, 等. 模型集群分析—随机森林方法在烟叶分类中的应用[J]. 江西农业学报, 2017, 29(1): 69-74.
TAN Guanping, BIN Jun, FAN Wei, et al. Application of random forest method based on model population analysis in tobacco quality classification[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2017, 29(1): 69-74.
- [10] CHEN Y, BIN J, ZOU C, et al. Discrimination of fresh tobacco leaves with different maturity levels by Near-Infrared (NIR) spectroscopy and deep learning[J]. Journal of Analytical Methods in Chemistry, 2021, 2021(1): 9912589.
- [11] 宾俊. 广义灰色体系和无损分析技术在烟叶生产加工过程中的应用[D]. 湖南农业大学, 2017.
BIN Jun. Application of generalized grey system and nondestructive analysis technology in tobacco production and processing[D]. Hunan Agricultural University, 2017.
- [12] 杨睿, 宾俊, 苏家恩, 等. 基于近红外光谱与图像识别技术融合的烟叶成熟度的判别[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2021, 47(4): 406-411+418.
YANG Rui, BIN Jun, SU Jiaen, et al. Identification of tobacco leaf maturity based on the fusion of near infrared spectroscopy and image recognition[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2021, 47(4): 406-411+418.
- [13] 王承伟. 基于近红外光谱技术的烟叶成熟度判别及初烤烟叶品质的研究[D]. 湖南农业大学, 2017.
WANG Chengwei. Based on the application of near infrared spectroscopy in the determination of maturity of tobacco leaves and studied the quality of flue-cured tobacco leaves[D]. Hunan Agricultural University, 2017.
- [14] 章英, 贺立源. 基于近红外光谱的烤烟烟叶自动分组方法[J]. 农业工程学报, 2011, 27(4): 350-354.
ZHANG Ying, HE Liyuan. Auto-grouping method of flue-cured tobacco leaves based on near infrared spectra technology[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(4): 350-354.
- [15] 宾俊, 周冀衡, 范伟, 等. 基于 NIR 技术和 ELM 的烤烟烟叶自动分级[J]. 中国烟草学报, 2017, 23(2): 60-68.
BIN Jun, ZHOU Jiheng, FAN Wei, et al. Automatic grading of flue-cured tobacco leaves based on NIR technology and extreme learning machine algorithm[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2017, 23(2): 60-68.

- [16] LI R, ZHANG X, LI K, et al. Nondestructive and rapid grading of tobacco leaves by use of a hand-held near-infrared spectrometer, based on a particle swarm optimization-extreme learning machine algorithm[J]. Spectroscopy Letters, 2020, 53(9): 685–691.
- [17] LIU H, TIAN L, WANG L, et al. Real-time grading of roasted tobacco using near infrared spectroscopy technology[J]. Microchemical Journal, 2024, 204: 110963.
- [18] 段凯, 姬厚伟, 刘剑, 等. 贵州复烤片中水溶性糖和烟碱近红外速测定量模型的建立[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(15): 79-82+87.
DUAN Kai, JI Houwei, LIU Jian, et al. Establishment of near-infrared quantitative model for quick test of water-soluble sugar and nicotine in flue-cured tobacco in Guizhou[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2017, 45(15): 79-82+87.
- [19] 杜文, 易建华, 黄振军, 等. 打叶复烤烟叶化学成分在线检测和成品质量控制[J]. 中国烟草学报, 2009, 15(1): 1-5.
DU Wen, YI Jianhua, HUANG Zhenjun, et al. On-line chemical determination in threshing and redrying process and its application in quality control[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2009, 15(1): 1-5.
- [20] 杜阅光, 崔登科, 程小东, 等. 声光可调近红外光谱技术用于打叶复烤片烟化学成分均质化生产控制[J]. 红外技术, 2012, 34(10): 614-618.
DU Yueguang, CUI Dengke, CHENG Xiaodong, et al. Homogenization self-control system of chemical composition in tobacco threshing and redrying process with acousto-optic tunable near-infrared spectroscopy[J]. Infrared Technology, 2012, 34(10): 614-618.
- [21] 胡芸, 刘娜, 姬厚伟, 等. 近红外光谱技术在线快速检测复烤片烟化学成分应用研究[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(19): 78-80+83.
HU Yun, LIU Na, JI Houwei, et al. Rapid analysis of chemical components of flue-cured tobacco strips with on-line near infrared spectroscopy[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2017, 45(19): 78-80+83.
- [22] 胡涌, 彭海根, 刘伟, 等. 烟叶复烤在线近红外模型的建立和应用[J]. 中国测试, 2018, 44(7): 56-60.
HU Yong, PENG Haigen, LIU Wei, et al. Establishment and application of online NIR models for tobacco redrying[J]. China Measurement & Test, 2018, 44(7): 56-60.
- [23] 龚涛, 卢敏瑞, 李秋剑, 等. 基于在线光谱模型的打叶复烤均质化研究[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(5): 181-184.
GONG Tao, LU Minrui, LI Qiujian, et al. Study on the homogenization of threshing and redrying based on online spectral model[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2021, 49(5): 181-184.
- [24] 叶浩, 高维常, 胡伟, 等. 手持式近红外光谱仪在烟叶均质化控制过程中的应用[J]. 安徽农学通报, 2019, 25(9): 109-111.
YE Hao, GAO Weichang, HU Wei, et al. Application of handheld near-infrared spectrometer in the homogenization control of tobacco leaves[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2019, 25(9): 109-111.
- [25] 张雅娟, 马翔, 张晔晖, 等. 近红外漫反射线性加和光谱在烟叶复烤配方中的应用[J]. 光谱学与光谱分析, 2011, 31(2): 390-393.
ZHANG Yajuan, MA Xiang, ZHANG Yehui, et al. The application of near-infrared diffuse reflection spectra based on the principle of linear additive in tobacco redrying formula[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2011, 31(2): 390-393.
- [26] 李石头, 吴继忠, 徐清泉, 等. 一种基于近红外光谱的原烟叶组配方维护方法: 中国, CN201610156519.8[P]. 2016-08-10.
LI Shitou, WU Jizhong, XU Qingquan, et al. The invention relates to a formula maintenance method of raw tobacco leaf group based on near infrared spectroscopy[P]. CN 201610156519.8.
- [27] 梁颖. 基于近红外光谱的复烤模块配方辅助设计研究[D]. 中国海洋大学, 2018.
LIANG Ying. Research on formulation assistant design of rebaking module based on near infrared spectrum[D]. Ocean University of China, 2018.
- [28] 郝贤伟, 毕一鸣, 田雨农, 等. 一种打叶复烤配方模块的设计方法: 中国, CN202010468232.5[P]. 2020-08-18.
HAO Xianwei, BI Yiming, TIAN Yunong, et al. The invention relates to a design method of a rebaking formula module for breaking leaves[P]. CN 202010468232.5.
- [29] 张璐, 唐兴宏, 马翔, 等. 应用近红外光谱分析不同生态环境的烟叶特性[J]. 光谱学与光谱分析, 2012, 32(3): 664-668.
ZHANG Lu, TANG Xinghong, MA Xiang, et al. Research on characteristic of tobaccos from different ecological environments base on near infrared spectroscopy[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2012, 32(3): 664-668.
- [30] 施丰成, 李东亮, 冯广林, 等. 基于近红外光谱的 PLS-DA 算法判别烤烟烟叶产地[J]. 烟草科技, 2013(4): 56-59.
SHI Fengcheng, LI Dongliang, FENG Guanglin, et al. Discrimination of producing areas of flue-cured tobacco leaves with near infrared spectroscopy-based PLS-DA algorithm[J]. Tobacco Science & Technology, 2013, (4): 56-59.
- [31] 束茹欣, 蔡嘉月, 杨征宇, 等. 应用近红外光谱投影模型法分析烟叶的产区与风格特征[J]. 光谱学与光谱分析, 2014, 34(10): 2764-2768.
SHU Ruxin, CAI Jiayue, YANG Zhengyu, et al. Analysis of tobacco style features using near-infrared spectroscopy and projection model[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2014, 34(10): 2764-2768.
- [32] 杨凯, 蔡嘉月, 张朝平, 等. 应用近红外光谱投影模型法分析烟叶的部位特征[J]. 光谱学与光谱分析, 2014, 34(12): 3277-3280.
YANG Kai, CAI Jiayue, ZHANG Chaoping, et al. Analysis of tobacco site features using near-infrared spectroscopy and projection model[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2014, 34(12): 3277-3280.
- [33] 宋楠. 基于改进 LLE 算法的山东烟叶香型风格分析研究[J]. 中国烟草学报, 2015, 21(5): 16-20.
SONG Nan. Analysis of aroma type of leaf tobacco in Shandong based on improved LLE algorithm[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2015, 21(5): 16-20.
- [34] 孙文萃. 基于近红外光谱的烟叶产地识别方法研究[D]. 中国海洋大学, 2015.
SUN Wenping. Research on producing area recognition of tobacco leaf based on near infrared spectroscopy[D]. Ocean University of China, 2015.
- [35] LUAN L, WANG Y, LI X, et al. Application of multiple classifier fusion in the discriminant analysis of near infrared spectroscopy for agricultural products[J]. Journal of Near Infrared Spectroscopy, 2016, 24(4): 363-372.
- [36] 栾丽丽, 王宇恒, 胡文雁, 等. 应用近红外光谱和多算法融合方法分析烤烟的香型风格特征[J]. 光谱学与光谱分析, 2017, 37(7): 2046-2049.
LUAN Lili, WANG Yuheng, HU Wenyan, et al. Analysis of flue-cured tobacco flavor style features using near-infrared spectroscopy and multiple algorithms fusion[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2017, 37(7): 2046-2049.

- [37] ZHANG J, LIU W, HOU Y, et al. Sparse Representation classification of tobacco leaves using near-infrared spectroscopy and a deep learning algorithm[J]. *Analytical Letters*, 2017, 51(7): 1029-1038.
- [38] 郝贤伟, 帖金鑫, 何文苗, 等. 基于近红外光谱-感官评价的巴西烟叶风格模拟及替代[J]. *烟草科技*, 2018, 51(10): 83-89.
HAO Xianwei, TIE Jinxin, HE Wenmiao, et al. Style simulation and substitution of Brazilian tobacco based on near infrared spectrum and sensory evaluation[J]. *Tobacco Science & Technology*, 2018, 51(10): 83-89.
- [39] 鲁梦瑶, 杨凯, 宋鹏飞, 等. 基于卷积神经网络的烟叶近红外光谱分类建模方法研究[J]. *光谱学与光谱分析*, 2018, 38(12): 3724-3728.
LU Mengyao, YANG Kai, SONG Pengfei, et al. The study of classification modeling method for near infrared spectroscopy of tobacco leaves based on convolution neural network[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2018, 38(12): 3724-3728.
- [40] LIU T, ZHANG Q, CHANG D, et al. Characterization of tobacco leaves by near-infrared reflectance spectroscopy and electronic nose with support vector machine[J]. *Analytical Letters*, 2018, 51(12): 1935-1943.
- [41] 王笛. 基于近红外光谱分析技术的智能烟叶品质检测和产地识别方法研究[D]. 重庆大学, 2019.
WANG Di. Study on intelligent quality detection and origin identification of tobacco leaf based on near infrared spectroscopy[D]. Chongqing University, 2019.
- [42] 刘艺琳, 张海燕, 彭海根, 等. 应用近红外光谱判别烟叶等级模型的可靠性及化学成分特征分析[J]. *光谱学与光谱分析*, 2020, 40(10): 3260-3264.
LIU Yilin, ZHANG Haiyan, PENG Haigen, et al. Reliability and chemical composition analysis of tobacco leaf grade model by near-infrared spectroscopy[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2020, 40(10): 3260-3264.
- [43] ZHANG L, DING X, HOU R. Classification modeling method for near-infrared spectroscopy of tobacco based on multimodal convolution neural networks [J]. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, 2020, 2020(1): 9652470.
- [44] LIAO F, LI Y, HE W, et al. Evaluation of aroma styles in flue-cured tobacco by near infrared spectroscopy combined with chemometric algorithms[J]. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 2020, 28(2): 93-102.
- [45] XIANG B, CHENG C, XIA J, et al. Simultaneous identification of geographical origin and grade of flue-cured tobacco using NIR spectroscopy[J]. *Vibrational Spectroscopy*, 2020, 111: 103182.
- [46] 沙云菲, 黄雯, 王亮, 等. 中红外和近红外数据融合的香型风格判别[J]. *光谱学与光谱分析*, 2021, 41(2): 473-477.
SHA Yunfei, HUANG Wen, WANG Liang, et al. Merging MIR and NIR spectral data for flavor style determination[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2021, 41(2), 473-477.
- [47] 孙学辉, 赵冰, 骆震, 等. 近红外光谱判别分析滤波器的设计与应用[J]. *光谱学与光谱分析*, 2022, 42(2): 399-404.
SUN Xuehui, ZHAO Bing, LUO Zhen, et al. Design and application of the discrimination filter for near-infrared spectroscopic analysis[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2022, 42(2): 399-404.
- [48] 耿莹蕊, 沈欢超, 倪鸿飞, 等. 近红外光谱结合灰狼算法优化支持向量机实现烟叶产地快速鉴别[J]. *光谱学与光谱分析*, 2022, 42(9): 2830-2835.
GENG Yingrui, SHEN Huanchao, NI Hongfei, et al. Support vector machine optimized by near-infrared spectroscopic technique combined with Grey Wolf optimizer algorithm to realize rapid identification of tobacco origin[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2022, 42(9): 2830-2835.
- [49] 王文俊, 沙云菲, 汪阳忠, 等. 近红外和电子鼻数据融合识别不同香型风格[J]. *光谱学与光谱分析*, 2023, 43(1): 133-137.
WANG Wenjun, SHA Yunfei, WANG Yangzhong, et al. Discriminating flavor styles via data fusion of NIR and EN[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2023, 43(1): 133-137.
- [50] 付博, 杨永锋, 刘向真, 等. 基于近红外光谱的烤烟香型分类模型研究[J]. *河南农业科学*, 2023, 52(7): 163-171.
FU Bo, YANG Yongfeng, LIU Xiangzhen, et al. Study on aroma type classification model based on near infrared spectra of flue-cured tobacco[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2023, 52(7): 163-171.
- [51] WANG D, YANG X. Broad learning system with Takagi-Sugeno fuzzy subsystem for tobacco origin identification based on near infrared spectroscopy[J]. *Applied Soft Computing*, 2023, 134: 109970.
- [52] 过伟民, 张艳玲, 刘伟, 等. 烤烟品种间理化特征的差异及其与感官质量的关系[J]. *烟草科技*, 2016, 49(5): 23-29.
GUO Weimin, ZHANG Yanling, LIU Wei, et al. Different physicochemical characteristics among several flue-cured tobacco varieties and their relationship with sensory quality[J]. *Tobacco Science & Technology*, 2016, 49(5): 23-29.
- [53] 马莉, 李雪莹, 杜国荣, 等. 应用近红外光谱或化学指标判别不同产地晒红烟的相似性[J]. *光谱学与光谱分析*, 2018, 38(8): 2407-2411.
MA Li, LI Xueying, DU Guorong, et al. Analyzing the similarity of different growing areas in red sun-cured tobacco by using near infrared spectroscopy or chemical data[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2018, 38(8): 2407-2411.
- [54] GUO J, ZHAO L, LIANG Y, et al. Moisture-adaptive corrections of NIR for the rapid simultaneous analysis of 70 chemicals in tobacco: A case study on tobacco[J]. *Microchemical Journal*, 2023, 189: 108522.
- [55] 沈欢超. 基于人工智能与近红外光谱技术的烟草质量控制研究[D]. 浙江大学, 2023.
SHEN Huanchao. Studies on quality control of tobacco based on artificial intelligence and near infrared spectroscopy[D]. Zhejiang University, 2023.
- [56] 王发勇, 王玉真, 刘泽, 等. 醇化过程中云南清香型烟叶的化学成分分析[J]. *西南农业学报*, 2023, 36(8): 1671-1676.
WANG Fayong, WANG Yuzhen, LIU Ze, et al. Chemical composition analysis of clear flavor tobacco leaf during maturation in Yunnan province[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2023, 36(8): 1671-1676.
- [57] 巩效伟, 段焰青, 黄静文, 等. 烤烟主要化学成分与烟叶等级和醇化时间的相关性研究[J]. *江西农业大学学报*, 2010, 32(1): 31-34+50.
GONG Xiaowei, DUAN Yanqing, HUANG Jingwen, et al. A study on chemical components in flue-cured tobacco and correlation with grades and alcoholization duration of tobacco[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2010, 32(1): 31-34+50.
- [58] 杨洋, 吴有祥, 刘素参, 等. 一种基于近红外光谱的烟叶醇化判定方法: 中国, CN202111631137.3[P]. 2022-04-08.
YANG Yang, WU Youxiang, LIU Sucan, et al. A method for determining tobacco leaf alcoholization based on near infrared spectroscopy[P]. CN 202111631137.3.
- [59] 张萌. 基于计算智能的数字化卷烟配方维护应用研究[D]. 青岛科技大学, 2021.
ZHANG Meng. Research on application of digital cigarette

- formula maintenance based on computational intelligence[D]. Qingdao University of Science and Technology, 2021.
- [60] 谢有超. 基于近红外光谱的卷烟相似性度量及数字化叶组配方设计研究[D]. 贵州大学, 2021.
- XIE Youchao. Study on cigarette similarity measurement and formulation design of digital leaf group based on near infrared spectroscopy[D]. Guizhou University, 2021.
- [61] 李石头, 廖付, 何文苗, 等. 基于近红外光谱相似的烟叶替代与卷烟配方维护[J]. 烟草科技, 2020, 53(2): 88-93.
- LI Shitou, LIAO Fu, HE Wenmiao, et al. Tobacco substitution and cigarette blend maintenance based on near infrared spectral similarity[J]. Tobacco Science & Technology, 2020, 53(2): 88-93.
- [62] ZHAO L, LIANG Y, ZHANG N, et al. Additive patterns in near-infrared diffuse reflectance spectra: Implications for product formulation and analysis[J]. Food Control, 2024, 165: 110676.
- [63] 梁森, 蔡嘉月, 杨凯, 等. 半监督偏最小二乘法在烟叶近红外感官评价模型中的应用[J]. 分析化学, 2014, 42(11): 1687-1691.
- LIANG Miao, CAI Jiayue, YANG Kai, et al. Study of tobacco sensory evaluation model in near infrared spectroscopy by semi supervised-partial least squares[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2014, 42(11): 1687-1691.
- [64] 刘挺. 基于近红外光谱的智能感官评估及数字化配方技术研究[D]. 中国海洋大学, 2019.
- LIU Ting. Research on intelligent sensory evaluation and digital formulation technology based on near infrared spectrum[P]. Ocean University of China, 2019.
- [65] 徐伟, 王树彬, 董海平, 等. AOTF 近红外光谱仪在烟草制丝线在线检测中的应用[C]//全国第四届近红外光谱学术会议论文集. 桂林: 中国仪器仪表学会, 2012.
- [66] 董海平, 赵阳. 近红外光谱仪在烟草制丝线在线检测中的应用[C]//全国第五届近红外光谱学术会议论文集. 北京: 中国仪器仪表学会近红外光谱分会, 2014.
- [67] 吴海云, 杨征宇, 杨凯, 等. 应用近红外在线检测及 RMEB 法调控卷烟制丝均匀性[J]. 计算机与应用化学, 2015, 32(4): 493-495.
- WU Haiyun, YANG Zhengyu, YANG Kai, et al. Regulation of tobacco primary processing uniformity by on-line NIR spectrometry and RMEB[J]. Computers and Applied Chemistry, 2015, 32(4): 493-495.
- [68] 李瑞丽, 刘玉叶, 李文伟, 等. 利用近红外光谱技术快速检测配方烟丝掺配均匀性[J]. 食品与机械, 2019, 35(5): 83-87.
- LI Ruili, LIU Yuye, LI Wenwei, et al. Study on rapid determination of tobacco blending uniformity by near infrared spectroscopy[J]. Food & Machinery, 2019, 35(5): 83-87.
- [69] 王军, 纪朋. 在线混丝均匀性监控方法研究[J]. 安徽农学通报, 2016, 22(16): 113-114.
- WANG Jun, JI Peng. Study on monitoring method of uniformity of on-line mixing silk[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2016, 22(16): 113-114.
- [70] 赵科文, 陈实, 蒋浩, 等. 基于近红外光谱技术的烟丝掺配均匀度测定[J]. 食品与机械, 2020, 36(11): 183-188.
- ZHAO Kewen, CHEN Shi, JIANG Hao, et al. Determination of blending uniformity of cut tobacco based on near infrared spectroscopy[J]. Food & Machinery, 2020, 36(11): 183-188.
- [71] 陈小明. 烟丝掺配均匀性的近红外光谱识别[J]. 福建分析测试, 2012, 21(2): 59-62.
- CHEN Xiaoming. Recognition of tobacco blending by near infrared spectrum[J]. Fujian Analysis & Testing, 2012, 21(2): 59-62.
- [72] 张鼎方. FT-NIR 快速检测制丝过程膨丝与叶丝掺配比例及均匀性[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(1): 316-317.
- ZHANG Dingfang. The mixing ratio and uniformity of expanded tobacco and cut tobacco by fast determination of FT-NIR in primary processing[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2013, 41(1): 316-317.
- [73] 邓发达, 曾建, 周学政, 等. 制丝过程中烟草品质变化的近红外谱图表征[J]. 中国烟草学报, 2011, 17(1): 42-44+49.
- DENG Fada, ZENG Jian, ZHOU Xuezheng, et al. Using near-infrared spectroscopy to characterize quality changes in tobacco during primary processing[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2011, 17(1): 42-44+49.
- [74] 张佳芸, 胡芸, 彭黔荣. 近红外光谱技术在快速检验制丝过程中烟丝质量均一性上的应用[J]. 理化检验 (化学分册), 2018, 54(9): 998-1003.
- ZHANG Jiayun, HU Yun, PENG Qianrong. Application of near infrared spectroscopy to rapid testing for quality uniformity of cut tobacco in its production process[J]. Physical Testing and Chemical Analysis(Part B:Chemical Analysis), 2018, 54(9): 998-1003.
- [75] 陶鹰, 党立志, 刘娟, 等. 近红外光谱法在卷烟制丝质量稳定性控制中的应用[J]. 光谱实验室, 2013, 30(1): 27-32.
- TAO Ying, DANG Lizhi, LIU Juan, et al. Application of near infrared spectroscopy in quality stability control of cigarette processing[J]. Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory, 2013, 30(1): 27-32.
- [76] 马雁军. 卷烟生产过程在线近红外品质监测技术及应用研究[D]. 北京化工大学, 2013.
- MA Yanjun. Research on online near-infrared analysis for quality monitoring in process of cigarette production[D]. Beijing University of Chemical Technology, 2013.
- [77] 吴进芝, 李军, 杜文, 等. 制丝线烟丝质量在线监测近红外模型的建立与应用[J]. 烟草科技, 2017, 50(10): 69-73.
- WU Jinzhi, LI Jun, DU Wen, et al. Establishment and application of NIR models for online cur tobacco quality monitoring in primary processing[J]. Tobacco Science & Technology, 2017, 50(10): 69-73.
- [78] 邢蕾. 烟草制丝过程中含水率在线监测及控制改进[D]. 湖南农业大学, 2016.
- XING Lei. Online monitoring and control of moisture content in tobacco processing[D]. Hunan Agricultural University, 2016.
- [79] 邹振民, 董海平, 许祥峰, 等. AOTAOTF 近红外光谱仪烟草在线检测[C]//节能、减排、安全、环保——第四届中国在线分析仪器应用及发展国际论坛暨展览会论文集. 北京: 中国仪器仪表学会分析仪器分会、中国仪器仪表行业协会分析仪器分会, 2011.
- [80] 史新珍. 制丝线烟丝质量在线检测技术的研究[D]. 湖南大学, 2015.
- SHI Xinzhen. The study of the on-line thread tobacco quality detection technology[J]. Hunan University, 2015.
- [81] DILUZIO C, MORZILLI S, CARDINALE E. Rapid near infrared reflectance analysis (NIRA) of mainstream smoke collected on cambridge filter pads[J]. Contributions to Tobacco & Nicotine, 1995, 16(4): 171-184.
- [82] 李阳阳, 张辞海, 彭黔荣, 等. 近红外光谱快速测定卷烟烟气中烟碱·焦油和二氧化碳释放量[J]. 安徽农业科学, 2022, 50(17): 175-178.
- LI Yangyang, ZHANG Cihai, PEI Qianrong, et al. Rapid detection of nicotine, tar and CO in cigarette smoke by near infrared spectroscopy based on smoke filter[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2022, 50(17): 175-178.

- [83] 任建新, 王志国, 刘巍, 等. 基于剑桥滤片的傅立叶变换近红外光谱测定卷烟主流烟气有害成分释放量[C]//中国烟草学会2016年度优秀论文汇编——烟草工业主题. 北京: 中国烟草学会, 2016.
- [84] 何智慧, 罗嘉, 练文柳, 等. 卷烟焦油的傅立叶变换近红外测定技术[J]. 湖南文理学院学报(自然科学版), 2009, 21(3): 59-61+67.
HE Zhihui, LUO Jia, LIAN Wenliu, et al. Determination of tar in the mainstream smoke by fourier transform near infrared spectrometry[J]. Journal of Hunan University of Arts and Science(Science and Technology), 2009, 21(3): 59-61+67.
- [85] 付秋娟, 王晓婷, 葛炯, 等. NIR 法预测原烟卷烟主流烟气中的焦油和烟碱[J]. 红外技术, 2014, 36(3): 249-254.
FU Qiujuan, WANG Xiaoting, GE Jiong, et al. Prediction of tar, nicotine and CO release amount in mainstream smoke of cigarette by near infrared spectroscopy[J]. Infrared Technology, 2014, 36(3): 249-254.
- [86] 王淑霞. 近红外光谱结合化学计量学用于烟气有害成分和卷烟工艺参数的研究[D]. 湖南大学, 2011.
WANG Shuxia. Study on cigarette manufacturing process parameters and harmful constituents in mainstream smoke by near infrared spectroscopy combines with chemometric methods[D]. Hunan University, 2011.
- [87] 张灵帅, 王卫东, 谷运红, 等. 近红外光谱的主成分分析-马氏距离聚类判别用于卷烟的真伪鉴别[J]. 光谱学与光谱分析, 2011, 31(5): 1254-1257.
ZHANG Lingshuai, WANG Weidong, GU Yunhong, et al. Identification of authentic and fake cigarettes using near infrared spectroscopy combined with principal component analysis-mahalanobis distance[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2011, 31(5): 1254-1257.
- [88] 李维莉, 张亚平. 近红外光谱的主成分分析-马氏距离分类法应用于品牌卷烟烟丝的快速鉴别[J]. 云南农业大学学报(自然科学版), 2010, 25(2): 268-271.
LI Weili, ZHANG Yaping. Rapid identification of different cut tobacco by the classification of principal component analysis-mahalanobis distance combined with near-infrared spectroscopy[J]. Journal of Yunnan Agricultural University(Natural Science), 2010, 25(2): 268-271.
- [89] 袁大林, 汤建国, 杨晨龙, 等. 近红外光谱分析技术结合化学计量学方法快速判别品牌卷烟烟丝[J]. 光谱实验室, 2013, 30(3): 1447-1450.
YUAN Dalin, TANG Jianguo, YANG Chenguang, et al. Near-infrared spectral analysis technology combined chemometrics methods for fast discriminating different brands of cut tobacco[J]. Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory, 2013, 30(3): 1447-1450.
- [90] OMAR J, SLOWIKOWSKI B, BOIX A. Chemometric approach for discriminating tobacco trademarks by near infrared spectroscopy[J]. Forensic Science International, 2019, 294: 15-20.
- [91] 段焰青, 李青青, 者为, 等. 近红外光谱相似度匹配分析方法鉴别烟支真伪[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2010, 32(4): 453-459.
DUAN Yanqing, LI Qingqing, ZHE Wei, et al. Analysis method of similarity roach of NIR spectral in authentic and fake cigarettes identification[J]. Journal of Yunnan University(Natural Sciences Edition), 2010, 32(4): 453-459.
- [92] 张燕. 近红外光谱检测技术用于卷烟产品的真伪鉴别[D]. 贵州大学, 2010.
ZHANG Yan. Near infrared spectrum detection technology is used to identify the authenticity of cigarette products[D]. Guizhou University, 2010.
- [93] 王家俊, 汪帆, 马玲. SIMCA 分类法与 PLS 算法结合近红外光谱应用于卷烟纸的质量控制[J]. 光谱学与光谱分析, 2006, 26(10): 1858-1862.
WANG Jiajun, WANG Fan, MA Ling. The quality assessment of cigarette paper by SIMCA and PLS combined with near infrared spectrum[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2006, 26(10): 1858-1862.
- [94] 赵科文, 陈实, 尹中尉, 等. 近红外光谱结合模式识别算法溯源识别卷烟纸油污[J]. 中国测试, 2020, 46(6): 51-55.
ZHAO Kewen, CHEN Shi, YIN Zhongwei, et al. Identification and tracing of cigarette paper oil stains based on near infrared spectroscopy and pattern recognition algorithm[J]. China Measurement & Test, 2020, 46(6): 51-55.
- [95] 郭松斌. 近红外光谱技术对滤棒中三醋酸甘油酯含量快速测定的研究[J]. 福建分析测试, 2010, 19(1): 14-18.
GUO Songbin. Determination of triacetin in tobacco filter rod by near infrared spectroscopy[J]. Fujian Analysis & Testing, 2010, 19(1): 14-18.
- [96] 王鹏, 蔡利, 谭广璐, 等. 烟用滤棒中三乙酸甘油酯递进法近红外模型的建立[J]. 中南农业科技, 2024, 45(3): 56-59.
WANG Peng, CAI Li, TAN Guanglu, et al. Establishment of near infrared model of triacetin in cigarette filter rods by progressive method[J]. South-Central Agricultural Science and Technology, 2024, 45(3): 56-59.
- [97] 杨光远, 韩磊, 邓少鹏, 等. 卷烟滤棒中三醋酸甘油酯含量的现场快速检测研究[J]. 分析测试学报, 2022, 41(5): 792-796.
YANG Guangyuan, HAN Lei, DENG Shaopeng, et al. On-site rapid determination of content of glycerol triacetate in cigarette filter[J]. Journal of Instrumental Analysis, 2022, 41(5): 792-796.
- [98] 刘珊, 胡军, 车燕丽, 等. FT-NIR 快速同时测定香精香料理化指标[J]. 红外与毫米波学报, 2010, 29(3): 220-224.
LIU Shan, HU Jun, CHE Yanli, et al. Simultaneous and rapid determination of physical and chemical indices of flavor and fragrance by fourier transform near-infrared spectroscopy[J]. Journal of Infrared and Millimeter Waves, 2010, 29(3): 220-224.
- [99] 黄艳, 赵阳, 董海平. AOTF 近红外法检测烟用香精香料理化指标[C]//全国第四届近红外光谱学术会议论文集. 桂林: 中国仪器仪表学会, 2012.
- [100] 史新珍, 王志国, 杜文, 等. 近红外光谱结合新型模型传递方法用于糖料的在线质量监控[J]. 分析化学, 2014, 42(11): 1673-1678.
SHI Xinzhen, WANG Zhiguo, DU Wen, et al. On-line quantitative monitoring and control of tobacco flavors by near infrared spectroscopy combined with advanced calibration transfer method[J]. Chinese Journal of Analytical Chemistry, 2014, 42(11): 1673-1678.
- [101] 李军华, 吴志英, 郑健, 等. 近红外透射光谱技术快速测定烟用香精理化指标[J]. 广州化工, 2015, 43(1): 108-110.
LI Junhua, WU Zhiying, ZHENG Jian, et al. Rapid determination of physical and chemical index in tobacco flavor by near infrared transmission spectroscopy[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2015, 43(1): 108-110.
- [102] 董海平, 邹振民, 许祥峰, 等. AOTF 近红外光谱仪在线检测烟草喷洒溶液中的乙醇和薄荷醇含量[C]//全国第三届近红外光谱学术会议论文集. 上海: 中国仪器仪表学会、中国分析测试协会, 2010.
- [103] 陈毅, 胡芸, 何军, 等. 基于近红外光谱法建立的模型预测烟

- 用料液中水溶性糖的含量[J]. 理化检验-化学分册, 2022, 58(4): 381-386.
- CHEN Yi, HU Yun, HE Jun, et al. Prediction of water-soluble sugars in tobacco casings with models based on near infrared spectrometry[J]. Physical Testing and Chemical Analysis(Part B:Chemical Analysis), 2022, 58(4): 381-386.
- [104] 秦子娴, 何春莉, 周浩, 等. 近红外光谱法快速同时测定烟用香精中常用溶剂含量[J]. 香料香精化妆品, 2023, (5): 151-157.
- QIN Zixian, HE Chunli, ZHOU Hao, et al. Application of near infrared spectroscopy method in the simultaneous and rapid determination of common solvents in tobacco flavors[J]. Flavour Fragrance Cosmetics, 2023, (5): 151-157.
- [105] 郑健, 邓发达, 张晰祥, 等. 近红外光谱技术在烟用香精招标质量评价中的应用[J]. 烟草科技, 2023, 56(5): 68-76.
- ZHENG Jian, DENG Fada, ZHANG Xixiang, et al. Using near-infrared spectroscopy to evaluate tobacco flavor quality during bidding[J]. Tobacco Science & Technology, 2023, 56(5): 68-76.
- [106] 彭军仓, 黄扬明, 王瑶, 等. 基于规则的深度分类器结合近红外光谱技术判别烟用香精香料[J]. 分析仪器, 2019, (2): 111-117.
- PENG Juncang, HUANG Yangming, WANG Yao, et al. Discrimination of tobacco flavors and fragrances by combining deep rule-based classifier with near infrared spectroscopy[J]. Analytical Instrumentation, 2019, (2): 111-117.
- [107] 陈兴, 王文元, 刘亚, 等. 近红外光谱相似度匹配分析法控制卷烟表香质量[J]. 激光与红外, 2013, 43(1): 44-48.
- CHEN Xing, WANG Wenyuan, LIU Ya, et al. Quality control of tobacco top flavor by NIR spectral similarity match analysis[J]. Laser & Infrared, 2013, 43(1): 44-48.
- [108] 陈毅. 基于近红外光谱分析技术的烟用香精香料定性定量分析研究[D]. 贵州大学, 2022.
- CHEN Yi. Study on qualitative and quantitative analysis of tobacco flavors and casings based on near infrared spectroscopy[D]. Guizhou University, 2022.
- [109] 张峰, 刘江生, 刘泽春, 等. 近红外透射光谱技术用于烟用香精的品质控制[J]. 中国烟草学报, 2009, 15(3): 12-16.
- ZHANG Feng, LIU Jiangsheng, LIU Zechun, et al. Quality control in tobacco flavor by near-infrared transmittance spectroscopy[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2009, 15(3): 12-16.
- [110] 叶亚军, 李力群, 纪旭东, 等. 基于 FT-NIR 技术的烟用香精香料品质控制技术研究[J]. 香料香精化妆品, 2019, (5): 6-12+20.
- YE Lijun, LI Liqun, JI Xudong, et al. Research on quality control technology of tobacco flavorings based on FT-NIR technology[J]. Flavour Fragrance Cosmetics, 2019, (5): 6-12+20.
- [111] 张峰. 近红外光谱技术用于二次调配烟用香精的品质控制[C]//全国第四届近红外光谱学术会议论文集. 桂林: 中国仪器仪表学会, 2012.
- [112] 宋楠, 刘云泽, 陆伟, 等. 烟叶品质快速检测与分析网络化平台技术研究[C]//中国烟草学会 2014 年学术年会优秀论文汇编. 北京: 中国烟草学会, 2014.
- [113] 王家俊, 杨家红, 邵学广. 烟草近红外光谱分析网络化及其应用进展[J]. 分析测试学报, 2020, 39(10): 1218-1224, 1230.
- WANG Jiajun, YANG Jiahong, SHAO Xueguang. Networking of near infrared spectroscopy for tobacco and its application perspective[J]. Journal of Instrumental Analysis, 2020, 39(10): 1218-1224, 1230.
- [114] 葛炯, 顾文博, 陈勇, 等. “互联网+”近红外检测模式下管控体系建设[J]. 现代科学仪器, 2016, (5): 131-137.
- GE Jiong, GU Wenbo, CHEN Yong, et al. Construction of management and control system under the "Internet+" near infrared detection mode[J]. Modern Scientific Instruments, 2016, (5): 131-137.
- [115] 赵英豪. 挖掘近红外数据新潜力 打造数字化转型新引擎[N/OL]. 中国烟草资讯网. [2024-10-18]. <https://www.echinatobacco.com/html/site27/mtsd/184784.html>.

Research Progress on the Application of Near-Infrared Spectroscopy Analysis Technology in the Tobacco Industry

LI Beibei¹, GUO Junwei^{1*}, MA Ji¹, ZHANG Nuohan², ZHAO Le¹, WANG Hongbo¹, LIU Yu¹,

JIN Zhe², LI Shan³, LIU Jinxia², WANG Zhicai³, NIE Cong¹

¹ Laboratory of Tobacco Chemistry, Zhengzhou Tobacco Research Institute of CNTC, Zhengzhou 450001, China;

² Technology R&D Center, Jilin Tobacco Industry Co., Ltd., Changchun 130033, China;

³ Technology R&D Center, Gansu Tobacco Industry Co., Ltd., Lanzhou 730050, China

Abstract: This paper reviews the research progress on the application of near-infrared spectroscopy analysis technology in the tobacco industry over the past fifteen years, covering aspects such as fresh tobacco leaves, flue-cured/redried tobacco leaves, aged tobacco leaves, cigarette product formulation, cut tobacco processing, finished cigarettes, and cigarette auxiliary materials. Furthermore, it proposes the future application development trends and key research areas for near-infrared spectroscopy analysis technology.

Keywords: near-infrared; tobacco; fresh tobacco leaves; newly roasted tobacco leaves; re-drying tobacco leaves; aged tobacco leaves; formula for cigarette products; cigarette shredding; cigarette products; cigarette auxiliary materials

*Corresponding author. Email: 4531612@163.com